

Architecture et confort thermique dans les zones arides Application au cas de la ville de Béchar

Abderrahmane Mokhtari^{1*}, Kouider Brahimi¹ et Radia Benziada²

¹ Université des Sciences et de la Technologie Mohamed Boudiaf,
B.P. 1505, El M'Naouar, Oran

² Centre Universitaire de Béchar

(reçu le 22 Avril 2008 – accepté le 30 Juin 2008)

Résumé - Cet article traite de la relation entre conception architecturale et confort climatique des usagers sans recours total ou partiel au conditionnement mécanique des locaux. Y sont présentés les principes de base de l'architecture bioclimatique et de l'art de construire, ainsi que des données relatives au climat saharien avec focalisation sur la ville de Béchar. La comparaison entre les valeurs simulées et les observations, en Janvier et Juillet, dans une maison individuelle de type F3 dans la zone sud-ouest de Béchar montre que l'on peut, presque atteindre le niveau de confort thermique requis par un choix judicieux des matériaux de construction, de la forme du bâtiment, de l'orientation et les dimensions des ouvertures. L'investissement supplémentaire nécessaire est rapidement amorti par les gains réalisés sur la facture énergétique.

Abstract - This paper deals with the relationship between architectural design and users thermal comfort without using air conditioning means. In the paper are presented the basic principles of architecture and the art of building together with data relating to Sahara climate with a more focus on Béchar city. The comparison between simulated data and observed data during January and July in a F3 type house located in the southwest of Béchar indicates that one may almost attain the required thermal comfort level through a judicious choice of building materials, building forms, direction and dimensions of windows. The extra investment required should be compensated by the gains on energy bills.

Mots clés: Confort thermique - Climat - Architecture bioclimatique – Conditionnement d'air - Zones arides.

1. INTRODUCTION

Dès la fin des années 60, l'humanité a pris conscience de la tendance vers l'épuisement des ressources et la première conférence internationale sur l'environnement de Stockholm en 1972 en est le symbole. Un an plus tard, le premier choc pétrolier illustre la fragilité des systèmes dépendant des énergies fossiles. Ainsi, est apparue la nécessité de mettre en œuvre une gestion globale de la planète et de ses écosystèmes.

En 1988, l'ONU adopte la notion de développement durable qui signifie un développement social, économique et politique répondant aux besoins présents, sans hypothéquer ou compromettre la capacité des générations futures à satisfaire leur propre développement. Cette notion fait apparaître la nécessité, tout à fait nouvelle dans son affirmation internationale officielle, d'une double solidarité : solidarité entre les peuples et solidarité entre les générations. Chaque acteur, de chaque secteur de la vie économique, est donc confronté à la responsabilité qui lui incombe dans la gestion globale des ressources et de l'environnement.

Pour le secteur du BTP, très énergivore avec 30 % à 40 % de la consommation d'énergie totale selon les pays, le concepteur doit donc continuer à assurer l'abri et le confort de l'utilisateur, mais devra, de plus, faire en sorte que l'impact du bâtiment sur l'environnement soit minimisé.

* am_mokhtari@yahoo.fr – kbrahimi@univ-usto.dz – brahimiusto@yahoo.fr

L'essor de l'architecture 'solaire' puis 'bioclimatique' permet à la fois la théorisation et la concrétisation de cette réflexion dans la production normale du cadre bâti. Cette expression vise principalement l'amélioration du confort qu'un espace bâti peut induire de manière 'naturelle', c'est-à-dire en minimisant le recours aux énergies non renouvelables, les effets pervers sur le milieu naturel et les coûts d'investissement et de fonctionnement.

L'intérêt du 'bioclimatique' va donc du plaisir d'habiter ou d'utiliser un espace à l'économie de la construction, ce qui en fait un facteur fondamental de l'art de construire. Pour cela, il faut veiller à:

- Préserver les ressources énergétiques conventionnelles,
- Réduire les coûts des investissements énergétiques, notamment en matière de chauffage et de climatisation,
- Réduire l'impact des énergies fossiles sur l'environnement.

Avec la raréfaction des ressources d'énergies fossiles et leurs coûts qui prennent l'ascenseur, en plus des effets négatifs des émissions qui en résultent sur le réchauffement de la planète, on commence à prendre conscience des biens faits d'intégrer le climat dans le mode de construire et d'en faire un facteur important (pour ne pas dire prépondérant) dans la recherche architecturale pour adapter les constructions aux conditions climatiques de la région d'implantation afin d'atteindre le niveau de confort thermique requis à moindre consommation d'énergie.

La figure 1 montre, si besoin était, l'augmentation de la température dans une ville du Sud algérien (Béchar) entre les périodes 1965 - 1984 et 2001 - 2005 [1], ce qui doit interpeller les consciences sur les risques du réchauffement de la planète.

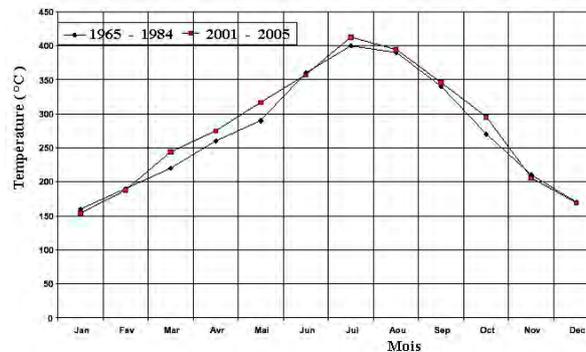


Fig. 1: Température extérieure à Béchar pour les périodes (1965 - 1984) et (2001 - 2005) [1]

Le climat chaud et sec est caractéristique des régions subtropicales d'Afrique, d'Asie, d'Australie et d'Amérique, dont l'aridité est due aux vents alizés. Le rayonnement solaire direct est très intense et peut atteindre 800 W/m^2 sur une surface horizontale. La faible humidité relative (4 % à 20 %), couplée à l'absence de nuages, provoque de larges amplitudes de températures pouvant varier de 70 °C le jour à 15 °C la nuit en été. Dans ces régions, les vents sont chauds et sont fréquemment accompagnés de tourbillons de sable et de poussière. Les précipitations sont rares et interviennent souvent sous forme d'averses ou de pluies orageuses.

La température du corps augmente avec l'activité physique et, pour qu'elle reste voisine de 37 °C , le corps doit perdre la chaleur à la même vitesse qu'elle a été produite en l'échangeant avec l'environnement: c'est la thermorégulation. Cet échange se produit, approximativement, pour $1/3$ par convection, $1/3$ par rayonnement, $1/4$ par sudation et le reste par ingestion de nourriture [2].

Le confort thermique est estimé essentiellement en fonction des paramètres climatiques extérieurs. Dans les zones arides, les besoins de chauffage en hiver sont faibles, bien que réels, mais les besoins de refroidissement, en été, sont beaucoup plus importants. Dans cet article, nous

nous intéressons uniquement au confort en période de surchauffe car une frigorie coûte beaucoup plus chère qu'une calorie. Par ailleurs, l'investissement supplémentaire pour une construction bioclimatique est très limité, et peut être rapidement amorti par les économies réalisées (jusqu'à 40 %) sur la facture énergétique.

L'objectif de cet article n'étant pas de détailler les propriétés des paramètres d'une architecture qui satisfasse les conditions de confort sans recourir, de façon inconsidérée, aux systèmes mécaniques de conditionnement des locaux, nous nous limitons à l'évocation des grands principes qui doivent guider les concepteurs.

2. CLIMAT SAHARIEN ET CONCEPTION ARCHITECTURALE

L'homme est capable de maintenir sa température plus ou moins constante, dans une fourchette de conditions environnementales données, soit par des mécanismes physiologiques involontaires, soit avec un usage judicieux de tenue vestimentaire ou avec la variation de l'activité physique.

Ceci ne peut pas être suffisant sous des conditions climatiques difficiles comme c'est le cas dans les zones arides du Sahara à climat très rude. Dans ce cas, c'est le bâtiment qui doit assurer la fonction de confort de l'utilisateur, pour qu'il puisse pratiquer ses activités normalement.

Pour atteindre un tel objectif, le concepteur est appelé à réunir les conditions favorables à la majorité des personnes, occupant un espace donné, par une analyse bioclimatique détaillée qui lui permet d'estimer le confort thermique en fonction des paramètres climatiques externes et faire le choix des techniques architecturales les mieux appropriées au cas étudié.

L'appréciation du confort thermique dépend des personnes. Cependant, en jouant sur des paramètres essentiels comme la température, les mouvements d'air et l'humidité, un équilibre satisfaisant peut être trouvé. L'ajustement de ces paramètres s'obtient en isolant thermiquement le logement, en améliorant les performances des fenêtres, en choisissant des systèmes de chauffage et d'aération adaptés au bâtiment et au mode d'occupation, en installant une régulation. On peut se protéger des surchauffes l'été en créant des courants d'air, en équipant les portes et les fenêtres de protections solaires adaptées, éventuellement en installant un climatiseur.

Dans les milieux arides, ce ne sont pas les températures moyennes journalières qui sont inconfortables, mais plutôt la fluctuation qui est à la base de l'inconfort. Pour atténuer cet effet, on réalise des parois de grande inertie thermique qui ont la capacité de stocker la chaleur pendant la journée pour la restituer la nuit, au moment où les usagers ouvrent leurs fenêtres pour ventiler et rafraîchir les espaces internes.

D'une façon générale, la température de l'air dans la ville est toujours supérieure à celle de son environnement. Cette différence est due, d'une part à la chaleur générée par les moyens de transport, le chauffage, le conditionnement d'air, les usines, et d'autre part par la basse vitesse de refroidissement des masses de béton qui, en raison de leur haute inertie thermique, restituent, la nuit, la chaleur accumulée pendant le jour.

Le degré hygrométrique, le rayonnement solaire (qui dépend surtout de l'albédo des surfaces urbaines), les couleurs et la couverture végétale influent sur l'élévation de la température et la réduction du taux d'humidité relative. Pour les zones arides, le climat et l'environnement, doivent être déterminant et non facultatifs dans toute étude de bâtiment.

Le mode de construire ancien adaptait l'architecture aux facteurs sociaux, culturels et climatiques pour pouvoir supporter des conditions de vie parfois difficiles, que cela soit au sud ou au nord. Le besoin de construire beaucoup, vite et pas cher a entraîné une rupture entre l'architecture et le climat, ce qui nécessite le recours abusif à des systèmes mécaniques de conditionnement d'air énergivores pour atteindre le confort thermique requis dans les locaux.

Le choix du site d'implantation est le premier facteur garantissant une conception architecturale thermiquement performante bien qu'il n'affecte ni les températures ni les humidités, mais il a un effet non négligeable sur le vent, la pluie et le rayonnement solaire.

En effet, l'observation des choix effectués, depuis l'antiquité, en matière de zones constructibles, doit orienter le processus de recherche du terrain adéquat. La morphologie et la pente du terrain, l'exposition au soleil, les masques de protection contre les vents dominants, sont autant d'éléments à prendre en compte.

Dans l'architecture traditionnelle des milieux arides, le confort de l'utilisateur était assuré par une combinaison de plusieurs stratégies passives de contrôle thermique, qui sont le résultat d'une connaissance approfondie des conditions climatiques. Ainsi, la réduction des températures internes pouvait être réalisée au moyen de concepts de refroidissement passifs tels que : évaporation, convection, rayonnement nocturne, ventilation, absorption de l'humidité en climat chaud et humide, radiation vers la voûte céleste, bâtiment enterré.

Un choix judicieux des matériaux de construction participe à la réduction des températures de l'air ambiant à l'intérieur des locaux. Leurs effets thermiques dépendent de deux qualités principales, la résistance thermique et la capacité calorifique.

Les parois et le renouvellement de l'air sont les principales sources de déperditions thermiques dans une construction. Il faut donc, réduire les besoins en assurant une bonne étanchéité à l'air (isolation) et une bonne aération en privilégiant la ventilation naturelle.

La conception du bâtiment doit mettre en œuvre des principes simples, basés sur le bon sens et qui ont prouvé leur efficacité dans les constructions anciennes. Elle doit être adaptée aux besoins saisonniers (chaleur en hiver, fraîcheur en été) et favoriser au maximum l'apport solaire passif et minimiser les déperditions. Dans ce cadre, nous dirons que l'architecture bioclimatique doit prendre en compte les principes suivants:

- Utiliser des matériaux massifs pour augmenter l'inertie thermique,
- Supprimer les points faibles, tels que les ponts thermiques, ou les balcons qui font corps avec le reste du bâtiment, et agissent comme ailettes de refroidissement,
- Prévoir des vitrages isolants (par exemple double vitrage), qu'il faut protéger par des volets, des stores et des casquettes, tout en privilégiant l'éclairage naturel des espaces,
- Eviter les surchauffes estivales en protégeant le bâtiment par une végétation appropriée,
- Utiliser des dispositifs architecturaux de protection tels que toiture opaque, casquette, etc...

Ainsi, la performance thermique du bâtiment peut être améliorée par diverses méthodes de refroidissement passif, indépendamment des appareils de conditionnement d'air. D'autre part, l'usage d'une seule technique pour la prévention des surchauffes en été ne peut être efficace.

En fait, une combinaison judicieuse des différentes techniques, à la manière de l'architecture traditionnelle, peut donner des ambiances de vie favorables, sans recourir aux dispositifs d'appoints.

3. APPLICATION : CAS DE LA VILLE DE BECHAR

L'Algérie maghrébine (au Nord) appartient à la zone bioclimatique méditerranéenne et est exposée aux variations du front polaire (masse d'air froid en hiver et influence de l'air saharien en été) ce qui explique l'aridité estivale en opposition à une saison fraîche relativement pluvieuse, à proximité de la côte (automne et printemps) dans les zones voisines de l'Atlas saharien. Le relief contribuant au tracé de la carte climatique, l'Algérie septentrionale, région d'altitude, connaît des hivers relativement froids contrastant violemment avec des étés torrides. En outre, disposé parallèlement à la côte, l'Atlas Tellien interpose un écran entre la mer et les régions intérieures et donne lieu à un certain cloisonnement climatique, le climat méditerranéen ne caractérisant que la bande littorale, tandis que l'influence saharienne et le souffle du sirocco se manifestent plus intensément au sud de ce massif.

Plus de 85 % de la surface totale de l'Algérie est caractérisée par un climat chaud et sec, subdivisée en trois zones climatiques d'été (E3, E4 et E5) et une zone climatique d'hiver (divisée

à son tour en trois sous zones H3a, H3b et H3c). Toutes ces régions subissent l'influence de l'altitude (Fig. 2).

- La zone E3 (Présaharien et Tassili), les étés y sont très chauds et très secs,
- La zone E4 du Sahara, correspondant à des étés plus pénibles que ceux de E3,
- La zone E5 du Tanezrouft est la plus chaude en Algérie,
- La zone H3a (Présaharien), d'altitude comprise entre 500 et 1000 mètres, est caractérisée par des hivers très froids la nuit par rapport au jour,
- La zone H3b (Sahara), d'altitude comprise entre 200 et 500 mètres, les hivers y sont moins froids que ceux de la zone H3a,
- La zone H3c (Hoggar), d'altitude supérieure à 500 mètres, avec des hivers rigoureux analogues à ceux de la zone H3a, mais qui persistent même durant le jour.

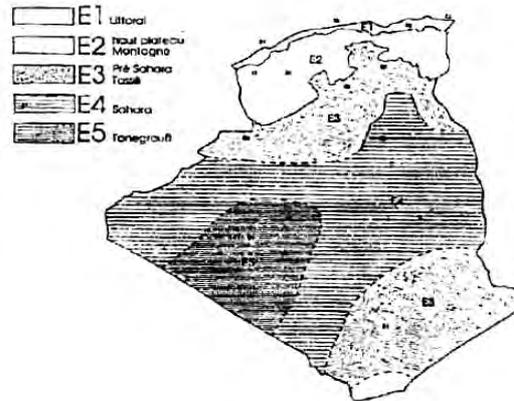


Fig. 2: Zonage climatique en Algérie [3]

La ville de Béchar, zone retenue dans cette étude, est caractérisée par de longues périodes de surchauffe où l'inconfort est fortement ressenti. L'analyse de la distribution mensuelle de la température et de l'humidité relative de la ville de Béchar [1] indique que la majeure partie de l'année se situe en dehors de la zone de confort. Les bâtiments doivent, donc, être conçus selon les exigences d'été; celles de l'hiver seront satisfaites en conséquence. Il est donc plus approprié de viser la période de surchauffe pour déterminer les techniques de refroidissement passif qui aident à réduire les températures internes pour atteindre des ambiances confortables.

La ville appartient à la zone climatique d'été E3 et celle d'hiver H3a avec deux saisons principales (été et hiver). Avec une forte insolation, dépassant les 3500 h/an, et un intense rayonnement solaire direct qui peut atteindre 800 W/m^2 sur un plan horizontal, le climat de Béchar présente un régime thermique très contrasté. En été, la température dépasse facilement les $50 \text{ }^\circ\text{C}$ à l'ombre, et l'humidité relative reste faible autour de 27 %.

Par ailleurs, en hiver la température extérieure peut descendre à $-5 \text{ }^\circ\text{C}$ la nuit avec des précipitations rares et irrégulières. En plus de ces caractéristiques défavorables, on assiste pendant les demi-saisons à de violents vents de sables qui peuvent atteindre 100 km/h .

De l'analyse climatique de la ville de Béchar, il apparaît, que la plus grande partie de l'année présente des conditions de vie inconfortables: un été long, chaud et sec, un hiver modéré par moments.

4. SIMULATION ET EXPLOITATION DES RESULTATS

Un bâtiment, quel qu'en soit l'usage, est un environnement complexe, et est le siège de multiples transferts de masse et de chaleur. Sauf exception, chaque bâtiment est un prototype unique dont les performances dépendent de phénomènes physiques.

Le comportement thermique d'un bâtiment est complexe et dépend des sollicitations auxquelles il est soumis telles que la température de l'air extérieur, l'échange radiatif avec son environnement, le transfert de masse, les divers flux de chaleur qui règnent à l'intérieur.

Un bâtiment est composé d'éléments liés entre eux et les transferts thermiques se font simultanément par conduction, convection et rayonnement. L'étude d'un tel système complexe nécessite un travail de modélisation dont la finesse dépend du degré souhaité.

L'analyse thermique par simulation permet d'analyser et d'interpréter les phénomènes thermiques qui se développent simultanément à travers l'enveloppe, en influant sur l'ambiance intérieure, et au cours desquels surviennent des événements thermiques à évolution rapide (régime variable). Elle permet de réunir les critères d'évaluation potentiels pouvant améliorer le confort thermique.

De nombreux logiciels d'aide à la conception des bâtiments ont été développés pour simuler le comportement thermique de ces derniers en vue d'une meilleure efficacité énergétique. L'utilisation de ces outils a permis des progrès importants en matière de réduction des consommations énergétiques pour le chauffage et/ou la climatisation des bâtiments.

TRNSYS [4] est un de ces logiciels phares, qui a occupé et occupe encore une large place dans le paysage des outils de simulation thermique du bâtiment. C'est un programme de simulation à structure modulaire permettant d'inclure d'autres modèles mathématiques que ceux de la bibliothèque standard.

Le menu interactif permet une utilisation facile par l'utilisateur pour la description des composants qui constituent le système et la façon dont ils sont reliés. Il convient parfaitement aux analyses détaillées de tout système dont le comportement dépend de la variable temps. Ce logiciel est devenu une référence pour les applications considérant le système solaire (thermique solaire et systèmes photovoltaïques), les systèmes d'énergie renouvelables, etc... Avec son environnement graphique IISiBat, il permet de simuler le comportement dynamique d'un système complexe, tel un bâtiment, de façon très fine. On rappelle que le logiciel TRNSYS a été choisi comme code de simulation dans différents thèmes de recherches développés au laboratoire thermique de bâtiment à la Faculté d'architecture et de génie civil de l'USTO d'Oran [5, 6].

Le bâtiment simulé est un mono zone de 16 m^2 de surface habitable et de hauteur 3 m, construit sur terre plein avec une fenêtre en bois dans la façade sud de dimensions $1.2 \times 1.4 \text{ m}^2$. Le vitrage (simple) a une épaisseur de 4 mm et une conductance hors résistance superficielle de 5.8 W/m^2 et un facteur solaire $K = 0.85$. La lame d'air est de $0.044 \text{ m}^2\text{C/W}$ de résistance. Pour les 4 murs et le toit, le coefficient d'absorption (intérieur et extérieur) = 0.7, et les coefficients de convection intérieur et extérieur sont $11 \text{ W/m}^2\text{C}$ et $64 \text{ W/m}^2\text{C}$ respectivement. Aucun espace ne bénéficie de la ventilation transversale puisqu'il n'y a qu'une seule ouverture.

Nous avons étudié l'influence du type de matériau (parpaing ou brique) dans les conditions d'été (Juillet) et d'hiver (Janvier), ainsi que l'influence de l'orientation du vitrage sur l'évolution de la température intérieure du local considéré. Les résultats sont présentés sur les figures 3 à 8 ci après.

Le local témoin choisi, pour comparer les résultats de la simulation aux relevés in situ, fait partie d'un programme de 200 logements individuels (F2 et F3) LSP situé au sud-ouest de la ville de Béchar, à proximité de la zone industrielle, au bord de la route qui mène à Kenadsa. La maison étudiée est de forme rectangulaire dont la longueur est de direction nord-sud.

Le système constructif est un système poteaux poutres, autostable, avec un plancher en corps creux (16+4). La maçonnerie est en parpaings et les murs extérieurs sont en doubles parois de 10 cm avec lame d'air de 5 cm et des enduits de ciment de 2 cm extérieur et intérieur.

De la lecture de ces graphes, on déduit que:

(i) Le choix des matériaux de construction, joue un rôle important dans le confort des locaux. En effet, l'inertie d'un bâtiment réduit et retarde l'effet des conditions extérieures (déphasage et décalage) et est particulièrement adaptée au climat où la différence de température entre le jour et la nuit est importante. Ceci est clairement établi à partir des résultats obtenus pour les deux types

de paroi (parpaing et brique rouge) qui montrent un écart de 7 °C, ce qui n'est pas négligeable, et confirme que le parpaing est un mauvais isolant qu'il faut éviter dans les constructions en zones sahariennes. Par contre, la brique rouge est un bon isolant thermique qui ne transmet à l'intérieur qu'une faible partie de la quantité de chaleur absorbée.

(ii) L'épaisseur des parois contribue au confort climatique des bâtiments. En effet, une paroi simple est moins performante qu'une double paroi, et en aménageant une lame d'air la performance en est augmentée.

(iii) Les résultats suggèrent que la masse thermique est plus efficace lorsqu'elle comporte une isolation thermique ce qui stabilise les températures et en réduit les fluctuations. De plus, l'effet d'un matériau isolant augmente avec son épaisseur.

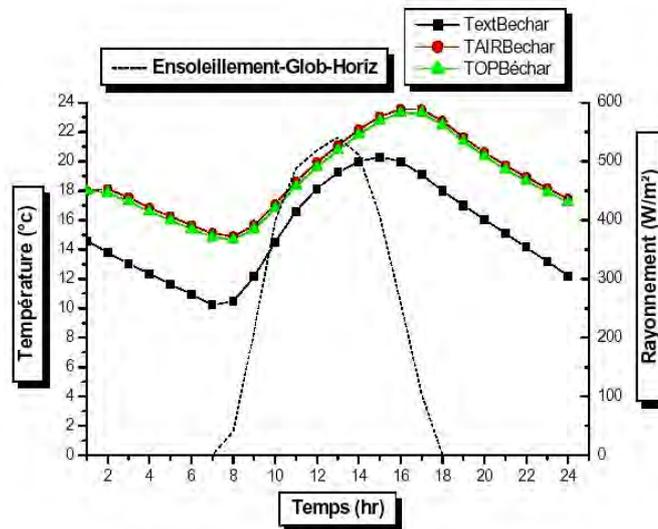


Fig. 3: Evolution de la température pour paroi simple en parpaing en hiver

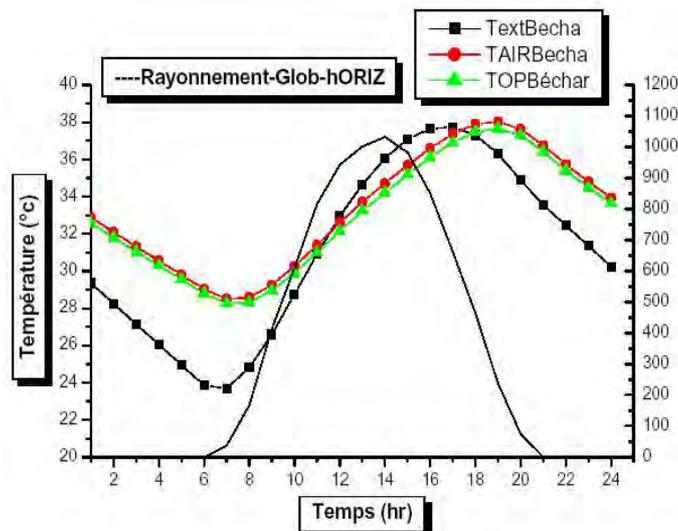


Fig. 4: Evolution de la température pour paroi simple en parpaing en été

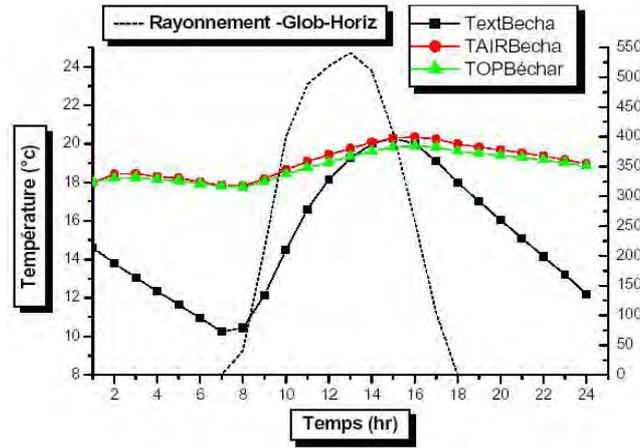


Fig. 5: Evolution de la température pour paroi en brique rouge en hiver

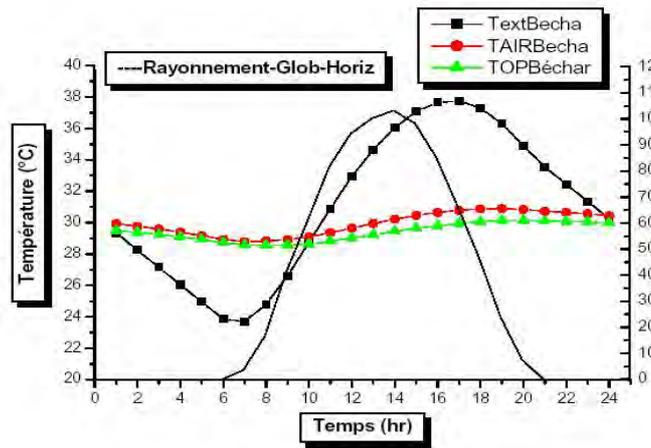


Fig. 6: Evolution de la température pour paroi en brique rouge en été

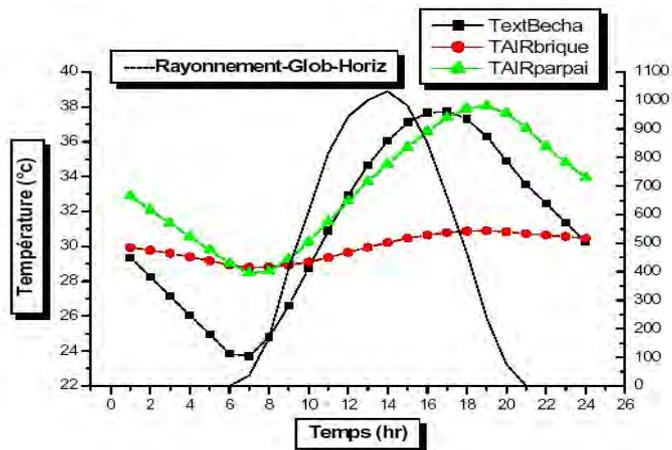


Fig. 7: Evolution de la température pour types de parois en été

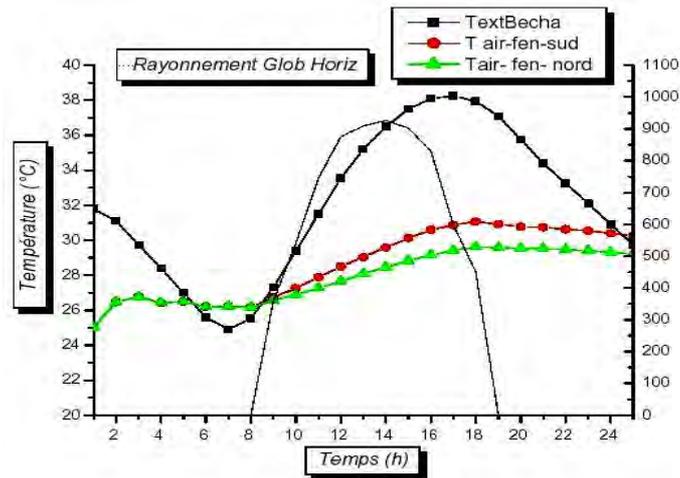


Fig. 8: Evolution de la température en fonction de l'orientation du vitrage en été

5. CONCLUSION

Les résultats de la simulation suggèrent que le confort thermique peut être atteint par une combinaison de paramètres qu'il faut intégrer dans la conception du bâtiment projeté.

L'amélioration de la performance thermique peut se faire par la suppression des parois simples, et l'utilisation de matériau de bonne isolation thermique comme la brique rouge, l'usage d'isolants et l'augmentation du débit de ventilation pour mieux refroidir la structure en été.

Bien qu'il y ait des principes de base, chaque bâtiment est un cas particulier et doit être étudié en fonction de l'emploi auquel il est destiné (bureaux, écoles, habitat...). On retiendra tout de même que sans protection du soleil, le choix de l'orientation d'un bâtiment a un faible impact énergétique, car la consommation totale (chaud + froid) plus importante à l'Est et l'Ouest est compensée par une consommation totale plus faible au Nord et au Sud.

Par ailleurs, si des protections solaires sont prévues, les grands cotés Nord et Sud sont plus faciles à gérer: une protection architecturale fixe est très efficace au Sud et ne nécessite que peu d'entretien.

Il faut privilégier les ouvertures au Nord pour favoriser l'éclairage et la ventilation naturels.

On peut réaliser une construction adaptée au climat au moyen de techniques passives de contrôle solaire et de refroidissement par ventilation et évaporation.

REFERENCES

- [1] R. Benziada, '*Etude du Conditionnement Climatique des Locaux dans le Contexte Saharien*', Mémoire de Magister, C.U. Béchar, 144 p., 2006.
- [2] S.V. Szokolay, '*Environment Science Handbook*', the Construction Press, Lancaster, England, 1980.
- [3] Ouvrage, '*Recommandations Architecturales*', ENAG Edition, Alger.
- [4] Logiciel, TRNSYS, '*A Transient System Simulation Program*', Manuel d'Utilisation, Laboratoire d'Energie Solaire, Université de Wisconsin-Madison, USA, 1996.
- [5] M. Annabi, '*Calcul des Besoins Energétiques du Bâtiment dans le Contexte Maghrébin*', Mémoire de Magister, USTO-MB, 140 p., 2005.
- [6] H. Maadan, '*Efficacité Energétique des Murs Rideaux dans les Constructions*', Mémoire de Magister, USTO-MB, 131 p., 2006.